微生物肥料在綠色農業之研究與發展

楊秋忠

國家講座教授
國立中興大學土壤環境科學系

摘　要

綠色農業是在農業與環境協調的生產方式，可促進永續發展、增加農民收入、保護環境及保証農產品安全的農業。利用輪作、作物殘質、動物廄肥、綠肥、豆類、農村有機廢棄物、礦物岩石及生物法防治病蟲害，以維持土壤生產力是綠色農業中的典型有機農業。從這個應用範疇中，無論在有機或低投入農業，可以瞭解土壤微生物所扮演的工作與綠色農業有密不可分的關係。農地中的土壤微生物直接或間接地影響土壤地力及作物生長，其中包括固氮菌、溶磷菌、菌根真菌、分解有機及無機礦物及根圈保護菌等，種類甚多，功能作用也甚廣，甚至還有不可培養之菌種，其功能包括增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長激素、增進作物根系生長及營養吸收、分解有機物釋放養分、分解土壤中有毒物質、與病菌抗衡作用、聚合形成土壤腐植質等，在土壤環境中都扮演著不同土壤及作物健康的重要角色。

綠色農業是應用有機物為主的農業生產經營方式，施用有機肥料要達到作物生產的目標，就需要依靠土壤微生物來協助配合，否則，將無法順利達到營養循環及有效供應充足的營養。古代的農業生產，雖然也是採用有機物為主的生產，但對土壤微生物並未特別去管理，是靠著長期的天生天長，這種農業生產潛力的發揮必定有限，因此，現代有機農業不能刻板的復古。而現在的農田又長期的施用化學肥料及農藥，並且許多農田及山坡地缺乏有機質，這些缺乏有機質的土壤，微生物足群必然低落，因此，由現在傳統的農業改變為有機農業時，微生物肥料的應用就有其需要性，以便達到保育土壤及維持良好的生產目標。本文中並討論未來之研究方向，尤其要重視多效用微生物的應用，提供參考，以便發展自然化、科學化及整體化的綠色農業。

前　言

微生物肥料係指含具有活性微生物或休眠孢子，如細菌(含放線菌類)、真菌及藻類等及其代謝產物的特定製劑，應用於作物生產具有供應

植物養分或促進養分利用，包括增進植物養分和元素之供應量與總量，或刺激植物生長，或促進植物對營養和元素的吸收。土壤微生物直接或間接地影響作物生長，其中包括固氮菌、菌根菌、硝化菌、分解作用菌等等，種類甚多，作用功能也甚廣，例如增進土壤氮素來源、增加養分的有效性及溶解度、釋放植物生長激素、增進作物根系生長及營養吸收、分解有機物釋放養分、分解土壤中有毒物質、與病菌抗衡作用、聚合形成土壤腐植質等等的功能，各種土壤微生物都扮演著不同的角色，這些微生物能在土壤中生存，歷經千百萬年而未被消滅，各有其存在的原因，尤其是頡抗病菌的微生物及根圈上一群保護根系的微生物則甚為重要。現代農業栽培管理上，影響土壤微生物相平衡或有益微生物生長的因子不可忽視，尤其是以過度使用農用化學物(包括農藥及肥料等)，加上土壤的環境污染，對原本天生天長的土壤微生物也必需加以重視。

綠色農業是指農業與環境協調的生產方式，可促進持續發展、增加農民收入、保護環境及保証農產品安全的農業。綠色農業的種類包括有機農業(organic agriculture)及低投入農業(low input agriculture)。而有機農業的範疇是利用輪作、作物殘質、動物廄肥、豆類、綠肥、農村有機廢棄物、礦物岩石及生物法防治病蟲害，以維持土壤生產力(Papendick, et al., 1980)。綠色農業是不依賴農用化學物質的生產體系，需要降低能源使用及生產成本，穩定產量及提高收益，及減少環境生態的衝擊。不依賴化學肥料的方法是應用有機質肥料(動、植物及微生物殘體)、微生物肥料(微生物的活體)，及礦物肥料(岩石礦物粉末)。從這個應用範疇中，可以瞭解微生物所扮演的工作與綠色農業有密不可分的關係。有機農業是應用有機物、微生物及礦物肥料為主的農業生產方式，施用有機物要達到作物生產的目標，就需要靠土壤微生物來協助配合，否則無法達到營養循環及供應充足的營養。古代的農業生產，雖然也是採用有機物為主的生產，對土壤微生物並未特別去管理，靠著長期自然生長，農業生產潛力的發揮必定有限。而現在的農田，且有長期施用化學肥料及農藥，許多農田及山坡地缺乏有機質，這些缺乏有機質的土壤，微生物族群必然低落，因此，由現在傳統的農業改變為綠色農業時，降低化學肥料及增加有機質與微生物肥料的應用就有其需要性，才能達到保育土壤及維持良好的生產目標。

綠色農業的實施策略包括：

一、充分利用生態環境的物質及養分循環系統：

二、營養綜合管理（INM：integrated nutrient management)：

精準施肥，使用環保性肥料（生物性及有機質肥料)，達成可持續生

產及保護環境的方法。

三、病蟲害綜合管理（IPM: integrated pest management)：

精準綜合及生物防治方法，避免過量使用農藥，達成生態平衡及提高生產效率的方法。

四、生物技術：

高產及高品質之品種。

五、輪作生產系統：

包括豆科、綠肥。

農業土壤為何需要微生物肥料？

農業土壤中原本即存在有許許多多的微生物，種類甚多，依生物分類學上，主要包括細菌、放線菌、真菌、藻類、原生動物等，在自然環境下相生相剋的生存著，在生態上扮演絕對重要的角色。在整個生態環境中，各種微生物各有其功能，各發揮其所長，但從不同角度上，某些微生物對作物而言可區分為有益及有害微生物，有益微生物可利用作為微生物肥料，有害微生物就是作物病害微生物，不同土壤中有害微生物的多寡不同，有害微生物受有益微生物及土壤環境所控制。為何原本土壤已有微生物還需要施用微生物肥料呢？其原因如下：

一、農用化學物質的大量使用：

現代農業栽培管理上，為了增產及改善生產品質，使用大量農藥及化學肥料，長期使用後，對有益微生物之減少及抑制，或生態相不平衡之影響都不可忽視，正確的土壤栽培管理應有長遠的眼光。

二、土壤受到污染：

環境的污染使土壤遭到各種污染物的影響，可能來自水污染或空氣污染，玫使土壤變酸或增加污染物，長期的污染下，首當其衝的土壤微生物受到相當程度的影響。

三、栽培系統的改變：

水田及旱作輪流栽培的方式是台灣常見的輪作系統，近年來食米過盛，水稻田轉作為旱作。由於水田的微生物與旱作的微生物代謝不同，好氣菌與嫌氣菌之比例也有相當的改變，水田時的有益菌，不見得能在旱作時有大的表現，反之旱作時土壤有益菌，也不見得能在水田中表現良好，因為環境狀況會影響微生物的活動。從上述人為之有意或無意下，土壤微生物之生態相有相當程度的改變，因此，現代栽培環境下，對原本天生天長的土壤微生物也必需加以重視管理。

四、增加有益微生物的優勢：

根圈或土壤中的各種有益微生物的工作能力及效率有好也有差，就如團體的成員一樣，有努力及不努力者，若能施用優良菌，將在根圈及土壤中佔優勢，其工作效果就提高了。有益微生物可增進土壤肥力及生產力、協助植物吸收營養及抓地力、增加植物抗病及抗旱能力、減少環境污染等功效，因此，增加有益微生物有相當重要的意義。

微生物肥料的發展目標及功能

微生物肥料的研發目標是要達成「高效、環保及安全」之綠色農業生產。以養分供應、吸收及促進生長達成高效之生產量及品質；以生物制衡及多樣性達成環保之生態保育；以土壤復育達成安全之無毒無害之農業生產。

微生物肥料之功能是包括：一、增進作物養分來源：固定大氣中氮(N2)。二、提高作物養分之有效性：增進有機質降解與礦化作用、酵素活性及養分有效性。三、增進作物養分及水分之收貯與輸送：提升作物對養分及水分供應、吸收及輸送效率。四、增進作物生育：增進作物生長、發育及延長壽命。五、改良土壤性質：改善土壤物理、化學及生物性質。六、降低有害物質毒性：促進有害物質分解。

微生物肥料之研究

一、微生物肥料之研究範圍包括如下：

（一）菌種之選拔：

1.優良功能之微生物。

2.多功能之微生物。

3.耐（抗）逆境之微生物。

4.適應不同土壤環境之微生物。

5.適應不同作物之微生物。

（二）菌劑之開發：

1.菌種：單一菌劑、複合菌劑。

2.劑型：液劑、固劑。

3.釋放型：直接釋放型、緩釋型、控釋型。

（三）生產技術及設備：

1.生產流程。

2.生產品管。

3.生產設備。

二、菌種選拔包括如下：

（一）優良功能之微生物（肥料功能兼作物生長促進)：

1.N：固氮菌，游離性、協生性及共生性細菌、放線菌、藍綠藻。

2.P：溶磷菌，溶解 Ca-P、Fe-P、Al-P、有機磷等細菌、放線菌、真菌等。

3.K：溶鉀菌，溶解矽酸鉀鹽之菌。

4.Ca：溶鈣菌，溶解 Ca-P 及其他不易溶解性鈣之菌。

5.Mg：溶鎂菌，溶解不易溶解性鎂之菌。

6.有機物分解菌：分解各種有機物、纖維素、蛋白質、脂肪、醣類、幾丁質等。

7.植物促進生育：促進作物生長及根系發展

（二）多功能之微生物：

篩選單一菌具上述多功能。

（三）耐(抗)逆境之微生物：

1.物理逆境：溫度 (嗜高溫菌、嗜低溫菌等) ，水分 (乾旱、浸水無氧等) ，輻射 (紫外線、放射線等) 。

2.化學逆境：酸鹼 (嗜酸性菌、嗜鹼性菌) ，鹽度 (極端嗜鹽菌、嗜鹽菌) ，毒物 (重金屬、農藥、有機污染物、植物毒物質等) ，抗瘠 (低養分、礦區污染) 。

3.生物逆境：對抗病蟲害之菌種。

（四）適應不同地區土壤環境之菌種。

（五）適應不同作物種類之菌種。

三、菌劑之開發已包括如下：

（一）菌種：

1.單一菌劑：特殊優良菌種。

2.複合菌劑：不一定愈多種菌會愈有效，因有菌種間之拮抗作用擴大適應性之效用。

（二）劑型：

1.液劑：成本較低、不利運輸、易污染膨罐。

2.固劑：成本較高、有利運輸、不會有膨脹問題。

（三）釋放型：

1.直接釋放型：沒有控制釋放菌種。

2.緩釋型：特定時間釋放出菌種。

3.控釋型：控制不同時間釋放出菌種。

微生物肥料的產品種類

微生物肥料的種類分別說明如下：

全球微生物肥料的產品主要是包括細菌、放線菌、真菌、藍綠藻等微生物，在商品上一般可見單一或多菌類混合的微生物肥料。單一菌類微生物肥料一般也是複合多株同類菌株的產品。以下為一般常見的微生物肥料之菌種：

一、固定氮素的微生物：

植物不能直接利用氮氣（N_2），氮氣在空氣中約佔 80%，只能經由固氮菌轉化成有效的氮化合物，這種作用叫作『固氮作用』。

固氮菌的種類依分類上區分為細菌、放線菌及藍綠藻類，其共同特徵是此類微生物均為無細胞核的微生物。固氮菌與作物關係上可區分為共生性、非共生性及協同性固氮菌。共生性固氮菌與植物 (如豆科、赤揚) 形成瘤狀或固氮體，如根瘤菌、放線菌、共生藍綠藻類；非共生固氮菌是在土壤或水田的游離固氮微生物，如固氮螺旋藻及光合固氮細菌類；協同性固氮菌是存在植物根圈附近，利用植物之根分泌物生活而固氮，其固氮效率一般較非共生固氮菌為高，如螺旋狀固氮菌與禾本科植物之協同性關係為最明顯。

二、菌根真菌：

菌根菌是一種與植物根部共生極為廣泛的真菌，主要的菌根菌包括內生、外生及內外生三大類，作物的根部與菌根菌發生共生。外生菌根菌伸入根皮層，但不進入細胞內，常在根的外部形成瘤狀或掌狀物，外生菌根菌的共生以林木為最多；內生菌根菌伸入根皮層及細胞內；內外生菌根菌則細胞內外皆有。一般農田作物以內生菌根菌為最多，尤其以囊狀體－叢枝體內生菌根菌最普遍受到重視。

三、溶磷菌：

溶磷菌是泛指能溶解土壤中不易溶解的無機或有機磷化物的微生物總稱。近年來農業施用許多的化學磷肥，然而磷肥中有效性磷非常容易與土壤中的正離子（鈣、鐵、鋁、鎂等）結合，形成不易溶性的磷化合物，如磷酸鈣、磷酸鐵、磷酸鋁等，加上磷的流失性小，於是磷在農田中累積，但作物並不易利用。若能利用溶磷微生物，將有利作物於土壤中磷肥的有效應用。

不同的溶磷菌的種類中，溶磷能力及能溶解物的範圍差異甚大，有的

菌可溶解「鈣結合磷」，可是不能溶解「鐵結合磷」，有的菌種且可溶解多樣的不易溶解的磷化物。常見的溶磷菌包括細菌及真菌，如 *Pseudomonas*，*Bacillus*，*Thiobacillus*，*Penicillium*，*Aspergillus* 屬等。

四、根圈有益微生物：

根圈有益微生物是指此類微生物適宜生長在根圈周圍，並能促進根系或植物生長。根菌有益微生物依不同功能而有差別，例如有分泌或轉化植物賀爾蒙或促進劑的微生物促進根系生長，增加營養吸收；有抑制病原菌的微生物，而此類菌之功能與肥料功能有差別，不宜以「微生物肥料」稱之，而以「微生物接種劑」或「微生物資材」稱之為宜，如「載鐵物質」的分泌菌。

五、分解菌：

分解菌是指可分解土壤有機物、農藥或有機肥料的菌類，此類的菌常與機質混合應用，增加土壤中有機質的礦質化作用，而釋出營養分。分解菌的種類甚多，作用的範圍甚廣，從大分子的有機質分解成小分子之有機或無機物（如銨、二氧化碳等），甚至包括去除惡臭物的分解作用及解毒作用。但需注意若會分解土壤有益物質的分解菌不宜加入土中。

六、有機聚合物的產生菌：

土壤中有許多小分子之有機物（如酚類、胺基類、醣類等），會被此類微生物聚合成大分子的有機物（如腐植酸、黃酸、黑色素等），這些聚合有機物對土壤的理化性質貢獻甚大，如增進土壤團粒作用，功效不可忽視。

以上各種重要的微生物，可以複合在一種或多種菌的微生物肥料中，使其發揮所長，達到有效的成果，是未來肥料的重要資材。

微生物肥料的展望

綠色農業生產在未來全球的走向，將以高效、環保及安全為生產目標，講求品質、新鮮及安全的產品，並在重視環境生態的永續性農業之前提下，微生物肥料將是不可缺少的生產資材。

肥料包括化學、有機及微生物肥料，任何一種肥料在綠色農業生產上都不可能是萬能，因此，在微生物肥料的應用上需要去瞭解其功效，適當的調配及應用，才能充分發揮功能，達到事半功倍的效果。